等速离心训练对肩关节内外旋肌的肌力平衡及神经肌肉控制能力的影响

10.12114/j.issn.1007-9572.2022.0724

陈建新，田心宇，张键*

基金项目：上海市临床重点专科项目（shslczdzk02703）

200032 上海，复旦大学附属中山医院康复医学科

*通信作者：张键，主任医师；E-mail：zhang.jian@zs-hospital.sh.cn

【摘要】 **背景** 肩关节内外旋肌肌力失衡会增加肩部运动损伤的风险，研究等速离心训练（isokinetic eccentric training，IET）能否提高肌力平衡并改善神经肌肉控制能力具有重要的损伤预防意义。**目的** 探讨 IET 对健康青年人肩关节内外旋肌的肌力平衡及神经肌肉控制能力的影响。**方法** 随机将 32 名健康青年受试者分为试验组（16 例）和对照组（16 例）。试验组接受 4 周等速离心训练,对照组（假训练组）接受 4 周连续被动运动训练。分别于干预前 1 周、干预结束后 1 周对两组肩关节内外旋肌的功能性比率（functional ratio，FR）、加速时间（acceleration time，AT）和达峰力矩时间（time to peak torque，TPT）进行评估并比较。**结果** 干预后，在 60°/s 和 120°/s 角速度下，试验组 FR 分别由（0.61±0.20）和（0.65±0.21）显著提高至（1.09±0.11）（P<0.001）和（1.13±0.15）（P<0.001），而对照组 FR 均无显著性变化（P>0.05），且试验组 FR 均较对照组显著性提高（P<0.001）；试验组内旋 AT 分别由（128.75±39.98）ms 和（178.12±31.25）ms 显著缩短至（88.75±24.19）ms（P<0.05）和（148.75±30.08）ms（P<0.05），试验组外旋 AT 分别由（128.12±104.77）ms 和（191.25±103.34）ms 显著缩短至（70.00±20.66）ms（P<0.05）和（114.38±41.79）ms（P<0.05），而对照组内、外旋 AT 均无显著性变化（P>0.05），且试验组内、外旋 AT 均较对照组显著性减少（P<0.05）；试验组和对照组内、外旋 TPT 均无显著性变化（P>0.05），而试验组 TPT 均较对照组显著性减少（P<0.05）。**结论** IET 能够提高肩关节内外旋肌的肌力平衡，保持肩关节的动态稳定，并能改善神经肌肉控制能力，以此可能降低运动损伤的风险。

【关键词】等速离心训练；功能性比率；神经肌肉控制；加速时间；达峰力矩时间

The effects of isokinetic eccentric training on strength ratio and neuromuscular control of internal and external rotators of the shoulder

*CHEN Jianxin，TIAN Xinyu，ZHANG Jian**

Department of Rehabilitation Medicine，Zhongshan Hospital Fudan University，Shanghai 200032，China

**Corresponding author：ZHANG Jian，Chief physician；E-mail：zhang.jian@zs-hospital.sh.cn*

【Abstract】 **Background** Strength imbalance between internal and external rotators of the shoulder may increase the risk of sports injury. Research on whether isokinetic eccentric training could enhance the strength ratio and improve neuromuscular control of shoulder rotators has important implications for injury prevention. **Objective** To investigate the effects of isokinetic eccentric training (IET) on strength ratio and neuromuscular control of internal and external rotators of the shoulder in healthy young people. **Methods** 32 healthy young subjects were randomly divided into the experiment group (n=16) and the control group (n=16). The experiment group received isokinetic eccentric training for 4 weeks, while the control group (sham-training group) received continuous passive movement training for 4 weeks. All of the subjects were evaluated through the functional ratio (FR), acceleration time (AT) and time to peak torque (TPT) of internal and external rotators of the shoulder at 1 week before the intervention and 1 week after the end of the intervention respectively. **Results** After the

intervention, all outcomes were obtained under the velocity of 60°/s and 120°/s, and compared with their counterparts at baseline. The FRs in the experiment group increased from (0.61±0.20) and (0.65±0.21) to (1.09±0.11) (P<0.001) and (1.13±0.15) (P<0.001) significantly. However, the FRs in the control group did not change significantly (P>0.05). The FRs in the experiment group were both significantly higher than those in the control group (P<0.001). The ATs of internal rotators in the experiment group reduced from (128.75±39.98) ms and (178.12±31.25) ms (P<0.05) to (88.75±24.19) ms and (148.75±30.08) ms (P<0.05) significantly. Meanwhile, the ATs of external rotators in the experiment group increased from (128.12±104.77) ms and (191.25±103.34) ms to (70.00±20.66) ms (P<0.05) and (114.38±41.79) ms (P<0.05) significantly, whereas the ATs of internal and external rotators in the control group all did not change significantly (P>0.05). Moreover, the ATs in the experiment were all lower than those in the control group (P<0.05). Regarding the TPTs of internal and external rotators, there were no significant changes in the experiment group or in the control group (P>0.05). However, the TPTs in the experiment group were all significantly lower than those in the control group (P<0.05). **Conclusion** IET can enhance the strength ratio of internal and external rotators, remain the dynamic stabilization of the shoulder and improve neuromuscular control, which may reduce the risk of sports injury.

【**Key words**】Isokinetic eccentric training; Functional ratio; Neuromuscular control; Acceleration time; Time to peak torque

肩关节内旋肌群与外旋肌群相互拮抗的特性以及力量的均衡性对于保持肩关节的动态稳定性以及所完成的动作质量起到非常重要的作用。内外旋肌肌力的不平衡被认为是肩关节出现骨骼-肌肉功能障碍的主要因素之一[1]。在过肩投掷类运动的加速阶段，肩关节外旋肌群需要产生离心收缩以确保在这个强有力的动作过程中肱骨头在关节盂上始终保持合理的位置并控制肩关节内旋的速度[2]。若此时外旋肌群的离心力量与内旋肌群的向心力量明显失衡，就会增加肩部运动损伤的风险[3]。同时，关节的稳定性依赖于静态稳定因素、动态稳定因素和神经系统的相互作用而实现。因此，神经肌肉控制对于维持肩关节的稳定也有重要的作用。

等速离心训练（isokinetic eccentric training, IET）是一种肌肉在阻力的作用下逐渐拉长、运动环节与肌肉拉力方向相反的特殊运动模式[4]。肌肉做离心收缩时可以刺激大脑皮质及脊髓发出更多神经冲动，增加运动单位募集，并可促进胶原的再适应控制，具有低耗能、高力量的特点[5]。等速离心收缩产生的肌力要大于等速向心收缩，特别对快速力量的提高有重要作用[6]。近年来，IET 已广泛应用于体育科研和康复医学领域，国内外已有利用 IET 来改善竞技运动员肩关节旋转肌群力量均衡性以及恢复受损旋转肌群的相关研究[7-10]，但针对非运动员健康人群的研究，国内尚未见报道。本研究利用 IET 观察其对健康青年人肩关节内外旋肌的肌力平衡及神经肌肉控制能力的影响，旨在提高肩关节的稳定性，降低肩部运动损伤的风险。

1 对象与方法

1.1 研究对象及分组 通过发布受试者招募广告招募到 32 例健康青年受试者为研究对象。纳入标准：(1) 年龄 18～25 岁；(2) 优势侧上肢无任何骨骼肌肉系统疾病或神经损伤；(3) 近 4 周内未进行任何上肢力量训练或大强度肩关节运动；(4) 愿意签署知情同意书。排除标准：(1) 有严重心脑血管疾病；(2) 妊娠期、哺乳期妇女；(3) 存在肩关节关节活动度受限；(4) 肩关节有手术史或外伤史。采用随机数字表法将其分为试验组（n=16 例）和对照组（n=16 例）。试验组接受等速离心训练，对照组（假训练组）接受连续被动运动训练。本研究经复旦大学附属中山医院伦理委员会批准（B2021-672）。

1.2 干预方法

1.2.1 试验组 受试者先进行 5 min 热身运动，包括肩关节拉伸和各个方向的主动活动。然后，采用美国 Biodex 公司生产的 Biodex System 4 Pro 多关节等速肌力测试与训练系统对优势侧肩关节内、外旋肌群进行等速离心训练，分别在 60°/s、120°/s、180°/s 三组速度下进行，每组重复 10 次，

组间休息 1 min，每周训练 2 次（间隔 3～4 d），连续训练 4 周。训练过程中，采取坐位，肩关节处于肩胛骨平面外展 45°，肘关节屈曲 90°，活动范围为内旋 45°～外旋 45°。利用言语激励受试者，让其发挥最大力量完成动作，同时提示其避免肩内收、肩屈曲、耸肩等代偿动作。

1.2.2 对照组 为假训练组，受试者训练过程中完全不用力，采用连续被动运动模式，训练程序和训练体位与试验组完全相同。

1.3 评估方法 训练开始前 1 周，采用美国 Biodex 公司生产的 Biodex System 4 Pro 多关节等速肌力测试与训练系统，对受试者优势侧肩关节内、外旋肌群进行测试。测试前研究人员向受试者详细介绍整个测试流程和注意事项。之后，受试者先进行 5 min 热身运动，然后进行等速测试。在正式测试前会让受试者先模拟测试，待其了解后正式开始测试。先选择外旋肌群进行向心/离心模式测试，分别在 60°/s 和 120°/s 两组速度下进行，每组用最大力量重复 5 次，组间休息 1 min；再选择内旋肌群离心/向心模式测试，分别在 60°/s 和 120°/s 两组速度下进行，每组用最大力量重复 5 次，组间休息 1 min。训练结束后 1 周对两组进行随访。随访测试与基线测试的内容和要求一致。

1.4 评估指标

1.4.1 功能性比率（functional ratio，FR）即“拮抗肌离心峰力矩/主动肌向心峰力矩”比值，是反应关节动态稳定性的重要功能性指标[11-12]。峰力矩是指肌肉收缩产生力量过程中，力矩曲线上最高的力矩值。本研究于训练开始前 1 周及训练结束后 1 周，分别在 60°/s 和 120°/s 两组速度下测得肩关节外旋肌群产生的离心峰力矩和内旋肌群产生的向心峰力矩，再通过计算得出相应速度下的 FR。当 FR 小于 1 时，就会增加肩关节运动损伤的风险。既往研究[11, 13-15]表明，当 FR 在 1.08～1.17 时，肩关节内外旋肌肌力处于较均衡的状态，从而使得肩关节在投掷运动加速过程中外旋肌群能牵制过度活跃的内旋肌群，减少运动损伤的发生。

1.4.2 加速时间（acceleration time, AT） 为肌肉在最用力收缩过程中从初始收缩到达预设角速度的时间，是反映神经肌肉控制能力的指标之一[16-18]。作为评估指标，其优点是非侵入性，且不受皮下脂肪层的影响[18]。AT 单位以毫秒（ms）表示，值越小，代表神经肌肉控制能力越强。

1.4.3 达峰力矩时间（time to peak torque, TPT） 为肌肉在最用力收缩过程中从初始收缩到达峰力矩的时间，是反映肌肉快速产生力矩的能力，即神经肌肉控制的反应效能[16,18]。TPT 单位以毫秒（ms）表示，值越小，代表神经肌肉控制能力越强。

1.5 统计学方法 采用 SPSS 17.0 统计学软件进行数据分析。以 Kolmogorov-Smirnov 方法对数据进行正态性检验，符合正态分布的计量资料以（$\bar{x}\pm s$）表示。两组间各指标比较采用独立样本 t 检验，组内干预前、后各指标比较采用配对样本 t 检验。计数资料以构成比表示，组间比较采用 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较 试验组受试者全部完成了 4 周的训练干预和评估，对照组 2 例受试者中途退出。最终，共 30 例受试者数据纳入统计学分析。两组受试者男女比例、年龄、身高、体重、体质量指数（body mass index, BMI）比较，差异无统计学差异（$P>0.05$），见表 1。

表 1 两组一般资料比较

Table 1 Comparison of demographics between two groups

组别	例数（男/女）	年龄（岁）	身高（cm）	体重（kg）	BMI（kg/m^2）
试验组	16 (7/9)	22.06±1.00	168.38±9.32	64.31±12.56	22.57±3.33
对照组	14 (5/9)	21.79±0.89	168.07±10.34	67.93±18.22	23.82±4.65
检验值	χ^2=0.201	t=0.796	t=0.085	t=-0.640	t=-0.851
P 值	0.722	0.433	0.933	0.528	0.402

2.2 两组干预前后 FR 的比较 干预前，在 60°/s 和 120°/s 速度下，两组 FR 均明显小于 1，且差异无统计学意义（P>0.05）。组内比较：干预后，在 60°/s 和 120°/s 速度下，试验组 FR 与干预前相比均显著性提高（P<0.001），并且均大于 1；而对照组 FR 与干预前相比均无明显变化（P>0.05）。组间比较：两种速度下，试验组 FR 较对照组均显著性提高（P<0.001），见表 2。

表 2 两组干预前后 FR 比较

Table 2 Comparison of FRs between two groups before and after intervention

组别		60°/s	120°/s
试验组（n=16）	干预前	0.61±0.20	0.65±0.21
	干预后	1.09±0.11[ab]	1.13±0.15[ab]
对照组（n=14）	干预前	0.54±0.14	0.68±0.22
	干预后	0.57±0.18	0.60±0.15

注：[a] 与组内干预前比较 P<0.001，[b] 与对照组干预后比较 P<0.001

2.3 两组干预前后内外旋肌 AT 的比较 干预前，在 60°/s 和 120°/s 速度下，内旋肌 AT 组间差异和外旋肌 AT 组间差异均无统计学意义（P>0.05）。组内比较：干预后，在 60°/s 和 120°/s 速度下，试验组内旋肌 AT 和外旋肌 AT 与干预前相比均显著性缩短（P<0.05）；而对照组内旋肌 AT 和外旋肌 AT 与干预前相比均无明显变化（P>0.05）。组间对比：两种速度下，试验组内旋肌 AT 和外旋肌 AT 较对照组均显著性减少（P<0.05），见表 3。

表 3 两组干预前后内外旋肌 AT 比较 （$\bar{x}$±s）

Table 3 Comparison of ATs of internal and external rotators between two groups before and after intervention

组别		60°/s		120°/s	
		外旋肌（ms）	内旋肌（ms）	外旋肌（ms）	内旋肌（ms）
试验组（n=16）	干预前	128.12±104.77	128.75±39.98	191.25±103.34	178.12±31.25
	干预后	70.00±20.66[ab]	88.75±24.19[ab]	114.38±41.79[ab]	148.75±30.08[ab]
对照组（n=14）	干预前	95.00±36.74	136.43±51.98	176.43±115.40	204.29±72.29
	干预后	110.71±45.65	157.86±65.77	192.86±110.62	216.43±55.97

注：[a] 与组内干预前比较 P<0.05，[b] 与对照组干预后比较 P<0.05

2.4 两组干预前后内外旋肌 TPT 的比较 干预前，在 60°/s 和 120°/s 速度下，内旋肌 TPT 组间差异和外旋肌 TPT 组间差异均无统计学意义（P>0.05）。组内比较：干预后，在 60°/s 和 120°/s 速度下，两组内旋肌 TPT 和外旋肌 TPT 与干预前相比均无显著性变化（P>0.05）。组间对比：两种速度下，试验组内旋肌 TPT 和外旋肌 TPT 较对照组均显著性减少（P<0.05），见表 4。

表 4 两组干预前后内外旋肌 TPT 比较 （$\bar{x}\pm s$）

Table 4 Comparison of TPTs of internal and external rotators between two groups before and after intervention

组别		60°/s		120°/s	
		外旋肌（ms）	内旋肌（ms）	外旋肌（ms）	内旋肌（ms）
试验组（n=16）	干预前	376.88±311.23	256.88±291.72	588.12±384.12	317.50±372.07
	干预后	277.50±106.18[a]	138.12±83.76[a]	416.88±127.42[a]	201.88±103.04[a]
对照组（n=14）	干预前	375.71±343.95	251.43±264.92	613.57±493.69	317.14±351.91
	干预后	420.71±246.72	310.71±212.48	626.43±305.00	317.86±68.41

注：[a] 与对照组干预后比较 $P<0.05$

3 讨论

肩关节是人体所有关节中活动范围最大且运动学特征最为复杂的关节。肩关节周围肌肉，尤其是旋转肌群，在过肩投掷类运动中对于维持肩关节的动态稳定发挥着非常重要的作用[2-3, 19]。若旋转肌群之间存在力量不均衡，就容易将肩关节置于运动损伤的风险中[3]。而且，青年人又是参与过肩投掷类运动相对较多的群体，如排球、网球、棒球、手球等。如果肩关节内外旋肌存在明显的力量失衡，大强度运动时就容易发生诸如肩袖损伤、喙肩撞击、盂肱关节不稳等肩关节损伤[1, 19-20]。在本研究中，受试者的基线 FR 普遍偏低，均值为 0.54～0.68，这可能主要由两方面因素造成：①解剖生理因素。肩关节内旋肌群的生理横截面积远远大于外旋肌群，使得本身产生的力量输出就要大于外旋肌群；②环境因素。日常生活中涉及肩关节的许多功能性动作会频繁使用到内旋肌群，因此该肌群能得到较多锻炼；而外旋肌群的功能性动作参与率相对较低，只在一些特定动作中出现，比如梳头等，因此该肌群缺乏锻炼。此外，受试人群在入组前并没有规律的肩部肌肉训练，使得外旋肌群暴露于先天力量欠缺的劣势状态中。因此，若能提前通过一些干预措施来改善这种力量失衡状态并预防体育活动中发生运动损伤就显得尤其有意义。

本研究发现，对肩关节内外旋肌进行 4 周 IET 干预后，在 60°/s 和 120°/s 速度下测得的 FR 均得到了明显的提升，比率从远小于 1 提高至略高于 1，理论上表明此时肩关节内外旋肌达到了功能性力量平衡。这与 Niederbracht 等[21]的研究结果一致，在其研究中发现，所有肩关节 FR 小于 1 的网球运动员通过 5 周的力量训练干预都能使得 FR 提高至大于 1。其背后可能的机制是：①等速技术在生化层面可增加肌糖原的生成，干预线粒体酶[22]；②等速技术的双向生理“溢流”能够同时训练拮抗肌和主动肌在任何运动角度的肌肉输出力矩，提高肌力[4]；③离心训练时，肌肉在离心拉长阶段能够促使弹性能量的生成，从而增强了神经系统的放射频率和反射募集作用[6]。此外，本研究发现在对肩关节内旋肌群与外旋肌群相同的干预下，外旋肌群的离心力量比内旋肌群的向心力量改善幅度更为显著。这可能是因为肌肉在离心收缩时出现的牵张反射使得肌肉中如结缔组织等弹性成分被拉长产生了一定的阻力，从而促使肌肉发生了更强烈的收缩，产生了更大的离心收缩力矩[23]。FR 提高后可理论上降低运动损伤的发生，尤其在盂肱关节不稳定的预防和康复中可产生积极的作用。Cools 等[24]在基于循证的针对盂肱关节不稳定的康复方案研究中发现，肩关节内在肌力平衡的恢复，尤其是外旋肌群离心力量的增强，对于肩关节稳定性的恢复至关重要，也可防止肩关节的再次脱位。

本研究还发现，经过 IET 干预后，在 60°/s 和 120°/s 速度下，内旋肌 AT 和外旋肌 AT 均较干预前或对照组显著缩短，表明肩关节内外旋肌都能更快从初始收缩到达预设角速度，肌肉激活时间更短。然而，内旋肌 TPT 和外旋肌 TPT 与干预前相比均未显示统计学差异，表明肩关节内外旋肌均未能明显缩短从初始收缩到达峰力矩的时间，但从结果来看仍有较大幅度下降，且与对照组相比均显示出了统计学差异，这可能与样本量偏小有关。Hess 等[25]通过肌电图研究发现存在肩关节不稳定的投掷运动员在做快速外旋动作时，内旋肌表现出一定程度的肌肉激活延迟，这表明肩关节内外旋肌肌力失衡与神经肌肉控制可能存在一定关联。而本研究表明肩关节内外旋肌通过 IET 干预达到肌力均衡后，神经肌

肉控制能力得到了明显的改善。这可能是因为旋转肌中的机械感受器，如 Ruffini 小体、肌梭、Golgi 腱器官以及 Pacinian 小体等，通过离心训练变得敏化，从而改善了本体感觉并强化了神经肌肉控制[26-27]，但具体机制仍有待进一步研究。同时，Zech 等[28]在一项系统综述研究中发现，神经肌肉控制对关节的功能发挥以及损伤的预防有明确的作用。因此，本研究认为 IET 可促使中枢神经系统通过不断地适应性练习建立良好的神经肌肉反应，对肌肉的激活更快，使肌肉产生最佳的活动模式，并保证动作的协调稳定，从而降低损害的发生。

本研究也存在一些不足之处：（1）试验只纳入了 18 至 25 岁的健康青年，因考虑到该年龄段人群对于过肩投掷类运动的参与度较高，故本研究的结果不能代表其他年龄群体；（2）因设备能力所限，试验选择的测试速度很难模拟实际投掷类运动中的肩关节旋转速度。有研究记录到肩关节内旋速度最高可达 6100～7510°/s[29]，这表明本研究的结果并不能完全反映实际运动中的真实情况；（3）本研究的样本量相对较小，今后仍需要进一步扩大样本量以提高试验结果的可靠性；（4）本研究仅通过试验结果理论推断改善肌力平衡和神经肌肉控制能力可以预防或减少运动损伤，并没有通过调查真实损伤情况进行验证，所以 IET 对于预防损伤的效果仍有待进一步研究。

综上所述，IET 能够提高肩关节内外旋肌的肌力平衡，保持肩关节的动态稳定，并能改善神经肌肉控制能力，以此可能降低运动损伤的风险。该训练值得在健身场所向普通人群以及投掷类运动爱好者推广，提高其运动损伤预防的意识。

作者贡献：陈建新进行研究设计与实施、数据收集及分析以及论文的撰写；田心宇辅助进行数据收集及整理；张键负责研究指导，并对文章整体负责。

本文无利益冲突。

参考文献

[1] STICKLEY C D, HETZLER R K, FREEMYER B G, et al. Isokinetic peak torque ratios and shoulder injury history in adolescent female volleyball athletes[J]. J Athl Train，2008，43(6):571-577. DOI: 10.4085/1062-6050-43.6.571.

[2] ESCAMILLA R F, ANDREWS J R. Shoulder muscle recruitment patterns and related biomechanics during upper extremity sports[J]. Sports Med, 2009, 39(7):569-590. DOI: 10.2165/00007256-200939070-00004.

[3] EDOUARD P, DEGACHE F, OULLION R, et al. Shoulder strength imbalances as injury risk in handball[J]. Int J Sports Med, 2013, 34(7):654-660. DOI: 10.1055/s-0032-1312587.

[4] 宣磊,吴建贤,潘家武.等速技术在康复医学领域中的研究进展[J]. 中国康复理论与实践，2019, 25(7):788-792. DOI: 10.3969/j.issn.1006‑9771.2019.07.009.

XUAN L，WU J X，PAN J W. Advance in Isokinetic Concept for Rehabilitation Medicine[J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(7):788-792. DOI: 10.3969/j.issn.1006‑9771.2019.07.009.

[5] 何建忠.等速肌力训练在膝关节康复治疗的应用[J]. 继续医学教育，2015，29(4): 116-117. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2015.04.079.

[6] 李硕,陈建.等速离心训练对膝关节肌肉力量的影响[J].湖北体育科技, 2016, 35(04): 342-345.

LI S, CHEN J. Research of Isokinetic Eccentric Exercise to the Muscle Strength[J]. Hubei Sports Science, 2016, 35(04): 342-345.

[7] MONT M A, COHEN D B, CAMPBELL KR, et al. Isokinetic concentric versus eccentric training of shoulder rotators with functional evaluation of performance enhancement in elite tennis players[J]. Am J Sports Med, 1994, 22(4):513-517. DOI: 10.1177/036354659402200413.

[8] BERCKMANS K, MAENHOUT A G, MATTHIJS L, et al. The isokinetic rotator cuff strength ratios in overhead athletes: Assessment and exercise effect[J]. Phys Ther Sport, 2017, 27:65-75. DOI: 10.1016/j.ptsp.2017.03.001.

[9] 廖丽萍.肩内旋拮抗肌群等速离心训练对肌力均衡性和挥臂速度的影响[D].北京：北京体育大学, 2015.

[10] 唐洪渊.等速肌力训练联合本体感觉训练在肩袖损伤修复术后康复中的应用效果[J].临床医学，2022，42(03):70-72. DOI: 10.19528/j.issn.1003-3548.2022.03.027.
[11] SCOVILLE C R, ARCIERO R A, TAYLOR D C, et al. End range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios: a new perspective in shoulder strength assessment[J]. J Othop Sports Phys Ther, 1997, 25(3):203-207. DOI: 10.2519/jospt.1997.25.3.203.
[12] SACCOL M F, GRACITELLI G C, DA SILVA R T, et al. Shoulder functional ratio in elite junior tennis players[J]. Phys Ther Sport, 2010, 11(1):8-11. DOI: 10.1016/j.ptsp.2009.11.002.
[13] NG G Y, LAM P C. A study of antagonist/agonist isokinetic work ratios of shoulder rotators in men who play badminton[J]. J Othop Sports Phys Ther, 2002, 32(8):399-404. DOI: 10.2519/jospt.2002.32.8.399.
[14] NOFFAL G J. Isokinetic eccentric-to-concentric strength ratios of the shoulder rotator muscles in throwers and nonthrowers[J]. Am J Sports Med, 2003, 31(4):537-541. DOI: 10.1177/03635465030310041001.
[15] YILDIZ Y, AYDIN T, SEKIR U, et al. Shoulder terminal range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios in overhead athletes[J]. Scand J Med Sports, 2006, 16(3):174-180. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2005.00471.x.
[16] LEE J H, PARK J S, HWANG H J, et al. Time to peak torque and acceleration time are altered in male patients following traumatic shoulder instability[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2018, 27(8):1505-1511. DOI: 10.1016/j.jse.2018.02.046.
[17] AVILA M A, BRASILEIRO J S, SALVINI T F. Electrical stimulation and isokinetic training: effects on strength and neuromuscular properties of healthy young adults[J]. Braz J Phys Ther, 2008, 12(6):435-440. DOI: 10.1590/S1413-35552008005000006.
[18] LEE J H, PARK J S, JEONG W K. Which muscle performance can be improved after arthroscopic Bankart repair?[J]. J Shoulder Elbow Surg, 2020, 29(8):1681-1688. DOI: 10.1016/j.jse.2019.12.013.
[19] 丛卉,周谋望.肩关节旋转肌群等速肌力评定的重测信度:测试体位的影响[J].中国康复医学杂志，2013, 28(12):1168-1171. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2013.12.021.
[20] WANG H K, COCHRANE T. Mobility impairment, muscle imbalance, muscle weakness, scapular asymmetry and shoulder injury in elite volleyball athletes[J]. J Sports Med Phys Fitness, 2001, 41(3):403-410.
[21] NIEDERBRACHT Y, SHIM A L, SLONIGER M A, et al. Effects of a shoulder injury prevention strength training program on eccentric external rotator muscle strength and glenohumeral joint imbalance in female overhead activity athletes[J]. J Strength Cond Res, 2008, 22(1):140-145. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31815f5634.
[22] MILOT M H, NADEAU S, GRAVEL D, et al. Gait performance and lower-limb muscle strength improved in both upper-limb and lower-limb isokinetic training programs in individuals with chronic stroke [J]. ISRN Rehabil, 2013. DOI: 10.1155/2013/929758.
[23] 李学军.等动向心离心训练对膝关节屈伸力矩影响研究[J]. 北京体育大学学报，2007，30(09):1221-1223. DOI: 10.19582/j.cnki.11-3785/g8.2007.09.024.
LI X J. Research on Knee Torque Development under the Concentric and Eccentric Isokinetic Training[J]. Journal of Beijing Sport University, 2007, 30(09):1221-1223. DOI: 10.19582/j.cnki.11-3785/g8.2007.09.024.
[24] COOLS A M, BORMS D, CASTELEIN B, et al. Evidence-based rehabilitation of athletes with glenohumeral instability[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(2):382-389. DOI: 10.1007/s00167-015-3940-x.
[25] HESS S A, RICHARDSON C, DARNELL R, et al. Timing of rotator cuff activation during shoulder external rotation in throwers with and without symptoms of pain[J]. J Orthop Sports Phys Ther, 2005, 35(12):812-820. DOI: 10.2519/jospt.2005.35.12.812.
[26] RIEMANN B L, LEPHART S M. The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability[J]. J Athl Train, 2002, 37(1):71-79.
[27] RIEMANN B L, LEPHART S M. The sensorimotor system, part II: the role of proprioception in motor control and functional joint stability[J]. J Athl Train, 2002, 37(1):80-84.

[28] ZECH A, HÜBSCHER M, VOGT L, et al. Neuromuscular training for rehabilitation of sports injuries: a systematic review[J]. Med Sci Sports Exerc, 2009, 41(10):1831-1841. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181a3cf0d.
[29] FLEISIG G S, ANDREWS J R, DILLMAN C J, et al. Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanisms[J]. Am J Sports Med, 1995, 23(2):233-239. DOI: 10.1177/036354659502300218.